

Université de Montréal

**Profils d'exposition à la lumière
chez les types du matin et les types du soir**

par

Geneviève Goulet

Département de psychologie
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M.Sc.)
en psychologie

Août, 2006

© Geneviève Goulet, 2006



BF

22

U54

2007

V.007

AVIS

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée :

Profils d'exposition à la lumière
chez les types du matin et les types du soir

présentée par :

Geneviève Goulet

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Julie Carrier, président-rapporteur
Marie Dumont, directeur de recherche
Antonio Zadra, membre du jury

Résumé

Les études antérieures sur les chronotypes et les mécanismes d'entraînement circadien par la lumière suggèrent que l'exposition lumineuse pourrait jouer un rôle dans l'établissement d'un type circadien. Dans cette étude, des mesures ambulatoires de lumière ont été effectuées chez 12 types du matin (types M) et 12 types du soir (types S) sur 7 jours consécutifs. La phase circadienne de chaque sujet a ensuite été estimée en laboratoire. En moyenne, les types M recevaient davantage de lumière vive que les types du soir. Les types M recevaient également davantage de lumière le matin que les types S alors que l'inverse est vrai en soirée. Cependant, les profils lumineux par rapport à la phase circadienne ne présentaient aucune différence, tant pour le groupe entier que pour le sous-groupe de types M et de types S présentant des phases circadiennes similaires. Ces résultats suggèrent que l'oscillateur circadien de ces individus est entraîné de manière similaire au cycle lumière-obscurité qu'ils reçoivent habituellement. À l'inverse, le sous-groupe de sujets présentant des phases circadiennes très hâtives ou très tardives montraient de larges différences dans leurs profils d'exposition lumineuse par rapport à leur phase circadienne. Cette observation suggère que pour ces individus, des phases circadiennes hâtives ou tardives sont associées à des périodes circadiennes relativement courtes ou longues, et que des profils de lumière favorisant un délai de phase pour les types M et une avance de phase pour les types S sont nécessaires pour assurer un entraînement stable au jour extérieur de 24 heures.

Mots-clés : chronotype, entraînement, exposition à la lumière, phase circadienne, horaire de sommeil, mesures ambulatoires.

Abstract

Previous studies on chronotypes and known mechanisms of circadian entrainment by light suggest that daily light exposure could play a role in the establishment of a circadian type. In this study, ambulatory monitoring was used to measure 24-h light exposure in 12 morning-type (M-types) and 12 evening-type (E-types) subjects for 7 consecutive days. The circadian phase of each subject was then estimated in the laboratory using salivary melatonin concentration and the core body temperature. On average, M-types showed more minutes of daily bright light exposure than E-types. As expected, M-types were exposed to more light in the morning than E-types and that the reverse was true in the late evening. However, there was no significant difference for the light profiles in relation to circadian phase for the entire group and for the sub-group of M-types and E-types with different sleep schedules but similar circadian phases. These results suggest that the circadian pacemaker of those M-types and E-types was similarly entrained to the light-dark cycle they usually experience. By contrast, the sub-groups of M-types and E-types with very early or very late circadian phases showed large differences in their profiles of light exposure in relation to their circadian phase. This observation suggests that in these individuals, early or late circadian phases are related to relatively short and long circadian periods, and that a phase-delaying profile of light exposure in M-types and a phase-advancing profile in E-types are necessary in order to assure a stable entrainment to the external 24-h day.

Keywords : Morningness-eveningness, chronotype, entrainment, light exposure, circadian phase, sleep schedule, ambulatory recordings.

Table des matières

Résumé	iii
Abstract	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	viii
Liste des abréviations	x
Remerciements	xi
Introduction	1
Le système circadien.....	2
Régulation du cycle éveil-sommeil.....	5
L'entraînement par la lumière.....	6
Les chronotypes.....	9
Exposition à la lumière et chronotype.....	13
Mesure ambulatoire de la lumière.....	15
Objectifs et hypothèses	17
Article	18
Abstract	19
Introduction.....	21
Method.....	23
Results.....	26

Discussion.....	29
Acknowledgement.....	32
References.....	33
Figure legends.....	38
Table 1.....	39
Figure 1.....	40
Figure 2.....	41
Conclusion.....	42
Bibliographie.....	46
Annexe 1 : Accord des coauteurs.....	I
Annexe 2 : Questionnaire de chronotype.....	III

Liste des tableaux

Tableau 1

Horaires de sommeil et estimations de la phase circadienne (moyenne \pm SEM) chez les types du matin et les types du soir, pour chaque sujet et pour les sous-groupes présentant des phases intermédiaires et des phases extrêmes telles qu'estimées par l'heure du début de la sécrétion de mélatonine en lumière tamisée (DLMO) dans la salive. Les angles de phase ont été calculés entre le DLMO et l'heure du réveil39

Liste des figures

Figure 1

Moyenne (et SEM) de l'exposition à la lumière (en log de lux) moyennée pour chaque heure de la semaine de mesures ambulatoires pour les types du matin (cercles ouverts) et les types du soir (cercles noirs). **A.** Résultats exprimés par rapport à l'heure de la journée telle qu'indiquée par la limite supérieure des 60 minutes précédentes. **B.** Résultats exprimés par rapport à l'heure du début de la sécrétion de mélatonine en lumière tamisée (DLMO) dans la salive : -1 inclut l'exposition à la lumière au moment du DLMO, +1 débute à la minute suivant le DLMO . Les astérisques montrent les différences intergroupes significatives ($p < 0.05$).....40

Figure 2

Moyenne (et SEM) de l'exposition à la lumière (en log de lux) moyennée pour chaque heure de la semaine de mesures ambulatoires pour les types du matin (cercles ouverts) et les types du soir (cercles noirs) présentant des phases circadiennes intermédiaires (panneaux de gauche) ou extrêmes (panneaux de droite). **A.** Résultats exprimés par rapport à l'heure de la journée telle qu'indiquée par la limite supérieure des 60 minutes précédentes. **B.** Résultats exprimés par rapport à l'heure du début de la sécrétion de mélatonine en lumière tamisée (DLMO) dans la salive : -1 inclut l'exposition à la

lumière au moment du DLMO, +1 débute à la minute suivant le DLMO. Les astérisques
montrent les différences intergroupes significatives ($p < 0.05$)).....41

Liste des abréviations

CRP : Courbe de réponse de phase

DLMO : *Dim Light Melatonin Onset*

E Type : *Evening type*

MEQ : *Morningness-Eveningness Questionnaire*

M Type : *Morning type*

NSC : Noyaux suprachiasmatiques

Processus C : Processus circadien

Processus S : Processus homéostatique

SEM : *Standard error of the mean*

Tmin : Moment du minimum de la température corporelle

Type M : Type du matin

Type S : Type du soir

VGH : Voie géniculohypothalamique

VRH : Voie rétino-hypothalamique

Remerciements

Je voudrais tout d'abord remercier ma directrice Marie Dumont pour m'avoir permis de réaliser ce projet et pour sa grande générosité et la disponibilité qu'elle m'a toujours accordée. Je tiens aussi à remercier toute l'équipe du centre de recherche de l'Hôpital Sacré-Cœur pour leur agréable compagnie et leur support constant. Tout particulièrement, j'aimerais remercier Valérie Mongrain et Jean Paquet qui ont collaboré au projet et qui ont été d'une aide précieuse.

Un merci spécial à mes amis Caroline Blais et Daniel Fiset pour leur amitié, leurs précieux conseils et leur passion pour la recherche qui a été une grande source d'inspiration. Je tiens également à souligner le support et l'encouragement que j'ai reçu de ma famille et de mon copain Nicolas Hernandez.

Merci à tous!

Introduction

La préférence concernant l'horaire de sommeil et des activités quotidiennes varie considérablement d'un individu à l'autre, certaines personnes étant considérées comme des types du matin (type M) et d'autres, comme des types du soir (type S). En plus d'avoir des heures de lever et de coucher décalées par rapport à la population générale, ces individus présentent généralement un décalage de leur horloge biologique. Comme la lumière a une influence importante sur l'heure interne de l'horloge biologique, le but de la présente étude est d'examiner s'il existe une relation entre cette caractéristique (appelée « chronotype ») et le profil d'exposition à la lumière des individus.

Puisque les types du matin et les types du soir présentent un horaire de sommeil différent par rapport au cycle jour-nuit extérieur, on peut s'attendre à ce que leur profils d'exposition à la lumière présentent également des différences. De telles différences pourraient être à l'origine des différences de phase circadienne habituellement observée entre ces deux populations, ou pourraient du moins jouer un rôle dans le maintien de leurs rythmes décalés. Étonnamment, rien n'est encore connu sur la relation entre les chronotypes et le profil d'exposition à la lumière.

La section suivante établira sommairement le contexte théorique relié à la présente étude. Notamment, il sera question de la physiologie et du fonctionnement du système circadien ainsi que l'effet de la lumière sur ce dernier. Finalement, un survol des études effectuées jusqu'à maintenant sur les chronotypes sera présenté afin de soutenir nos hypothèses de recherche.

Le système circadien

La plupart des fonctions physiologiques et psychologiques, tels que la propension au sommeil et les processus endocriniens, présentent des variations au cours d'une période de 24 heures. La régulation de ces rythmes circadiens est d'origine endogène et est principalement sous le contrôle des noyaux suprachiasmatiques (NSC) de l'hypothalamus. Les NSC sont une paire de noyaux bilatéraux situés au niveau de la partie antérieure de l'hypothalamus, au-dessus du chiasma optique et de chaque côté du troisième ventricule. Ces noyaux intègrent à la fois les informations internes et externes pour entraîner les rythmes circadiens de façon à ce que les différentes fonctions surviennent au bon moment au cours du cycle jour-nuit.

Comme il n'est pas possible de mesurer directement l'activité des NSC chez l'humain, d'autres indicateurs des variations circadiennes dans le signal de l'oscillateur doivent être utilisés. Les rythmes marqueurs les plus fréquemment utilisés sont les mesures de température corporelle et le niveau de sécrétion de mélatonine. Ces rythmes sont utilisés afin de déterminer la phase de l'oscillateur circadien. Cette mesure permet d'établir à quel moment surviennent la nuit et le jour subjectifs de l'individu, c'est-à-dire à quel moment surviennent les activités physiologiques qui se produisent normalement durant la période de noirceur (nuit subjective) et à quel moment ont lieu les activités physiologiques qui se produisent normalement durant la période de clarté (jour subjectif).

Température corporelle. La température du corps augmente graduellement au cours de la journée et diminue au cours de la nuit pour atteindre un minimum tôt le matin, environ deux heures avant l'heure habituelle du lever (Weitzman, 1982). L'heure du minimum de la température est régulièrement utilisée comme indicateur de la phase circadienne. Par contre, cette mesure s'avère sensible à un grand nombre de facteurs tels que la posture, la prise de nourriture et les épisodes de sommeil. La détermination du minimum de température est donc plus valide lorsqu'elle s'effectue au cours d'un protocole de routine constante (Duffy et Dijk, 2002). Ceci consiste à maintenir les sujets en conditions constantes pendant plus de 24 h au cours desquelles les mesures de la phase circadienne sont effectuées. Au cours de ce protocole, les sujets sont maintenus éveillés en position assise et sont nourris à intervalles réguliers afin de contrer les effets du cycle éveil-sommeil, de l'activité physique et de la prise de nourriture qui peuvent masquer le véritable rythme de température tel que déterminé par l'oscillateur circadien. Afin d'obtenir des mesures plus précises, la température corporelle est habituellement mesurée à l'aide d'une thermistance rectale. Celle-ci a l'avantage de permettre de mesurer la température du sujet à toutes les minutes et ce, même pendant son sommeil. Le moment du minimum de la température (T_{min}) est déterminé par une analyse du cosinor (Nelson, Tong, Halberg et Lee, 1979). Cette méthode consiste en une approximation sinusoïdale des données en utilisant une fonction cosinus afin d'en déterminer les paramètres tels que la valeur minimum et l'amplitude.

Mélatonine. La mélatonine est une hormone sécrétée principalement par la glande pinéale. Chez l'humain, cette hormone est normalement sécrétée au cours de la nuit, sa

sécrétion débutant progressivement en soirée pour atteindre un maximum environ 1 à 2 heures avant le minimum de température. La sécrétion de mélatonine se termine le matin et atteint un taux plasmatique presque indétectable durant le jour. Le rythme de la sécrétion de mélatonine suit donc une courbe de forme inverse à celle de la température. La lumière a un effet inhibiteur sur sa sécrétion, c'est-à-dire que la production de mélatonine peut être partiellement ou complètement supprimée par l'exposition à la lumière (Lewy, Wehr, Goodwin, Newsome et Markey, 1980). Il est donc important d'effectuer les mesures en lumière tamisée (< 15 lux). La phase circadienne est habituellement déterminée par l'heure du début de la sécrétion de mélatonine en lumière tamisée (*Dim Light Melatonin Onset* ou DLMO) (Lewy, Cutler et Sack, 1999). La concentration de l'hormone peut être mesurée dans le plasma ou la salive. Il est également possible de déterminer le niveau de sécrétion de mélatonine à partir de la concentration de son métabolite, la 6-sulfatoxymélatonine, dans l'urine. L'utilisation de la salive a l'avantage de donner une mesure plus précise du DLMO qu'avec l'urine car elle permet un échantillonnage plus fréquent. De plus, contrairement à l'utilisation du plasma sanguin, la mesure de la mélatonine par la salive constitue une mesure non-invasive. Par contre, la concentration de mélatonine dans la salive est beaucoup moins élevée que dans le plasma, la première correspondant à 30% de la deuxième (Voultsios, Kennaway et Dawson, 1997). Lorsque la mélatonine est mesurée dans la salive, le DLMO peut être défini comme l'heure du premier échantillon de salive dont la concentration est plus élevée que le seuil de détection et qui est suivi de deux échantillons dont la concentration est également au-dessus de cette mesure (Deacon & Arendt, 1994; Mongrain, Lavoie, Selmaoui, Paquet et Dumont, 2004).

Régulation du cycle éveil-sommeil

Le cycle éveil-sommeil est sous la régulation de deux processus : le processus homéostatique (Processus S) et le processus circadien (Processus C) (Borbély & Wirz-Justice, 1982). Le Processus S correspond à la propension au sommeil qui augmente au fur et à mesure que l'on accumule des heures d'éveil et qui diminue au fur et à mesure que l'on accumule des heures de sommeil. Le Processus C représente la tendance circadienne à l'éveil et au sommeil. Celui-ci est sous le contrôle de l'oscillateur circadien et il est indépendant de la quantité de sommeil ou d'éveil. La propension circadienne au sommeil est maximale au moment du minimum de température corporelle, soit environ deux heures avant l'heure habituelle du lever et diminue pour atteindre un minimum au moment du maximum de température corporelle. Ce point constitue le moment circadien où il est le plus difficile de s'endormir et paradoxalement, survient environ deux heures avant l'heure habituelle du coucher. Durant la nuit, la propension circadienne au sommeil augmente alors que la tendance homéostatique au sommeil diminue à mesure que les heures de sommeil s'accumulent. Pendant la journée, la diminution de la propension circadienne au sommeil (et donc l'augmentation de la propension circadienne à l'éveil) vient contrecarrer l'augmentation graduelle de la propension homéostatique au sommeil accumulée durant la journée. Ainsi, les deux processus interagissent afin de nous permettre de maintenir une période de sommeil consolidé de huit heures et une période d'éveil de 16 heures. (Dijk et Czeisler, 1995; Dijk et Lockley, 2002).

L'entraînement par la lumière

Il a été constaté que la périodicité endogène de l'oscillateur circadien est généralement un peu plus longue que 24 heures (24,2 heures en moyenne) (Czeisler et al., 1999). Ainsi, afin que nos rythmes circadiens soient synchronisés avec le cycle jour-nuit de 24 heures, notre organisme a besoin d'indices extérieurs (zeitgebers) dont le principal est le cycle lumière-obscurité (Eastman, Boulos, Terman, Campbell, Dijk et Lewy, 1995; Eastman et Martin, 1999; Roenneberg, Daan et Mellow, 2003a).

Lorsque la lumière est insuffisante, ou que l'oscillateur circadien n'y a pas accès, l'ajustement ne se fait pas correctement et la fréquence des troubles de sommeil et de vigilance augmente. C'est ce qui est souvent constaté chez les personnes aveugles dont les NSC ne reçoivent plus l'information photique permettant un ajustement adéquat au cycle jour-nuit extérieur (Lockley et al., 1997; Leger, Guilleminault, Defrance, Domont & Paillard, 1999). Ainsi, l'oscillateur circadien de ces personnes aveugles fonctionne en libre cours, c'est-à-dire qu'il suit sa propre périodicité endogène qui peut être différente du cycle jour-nuit de 24 heures. Par exemple, si la période endogène de l'oscillateur est plus longue que 24 heures, le rythme de propension au sommeil décalera continuellement par rapport au cycle jour-nuit. Il en résultera des problèmes fréquents d'insomnie la nuit et de vigilance le jour. C'est également le cycle lumière-obscurité qui permet à l'horloge biologique de se synchroniser à un nouvel horaire au cours d'un voyage transméri dien, ce qui explique pourquoi les symptômes liés au décalage horaire ne durent que quelques jours. Par contre, pour ce qui est des travailleurs de nuit, leur cycle lumière-obscurité

est généralement inversé par rapport à leur cycle éveil-sommeil, ce qui les empêche de se synchroniser à leur horaire de travail et les maintient dans un perpétuel décalage horaire.

L'entraînement circadien à la lumière se fait grâce à l'information photique reçue par la rétine qui est ensuite transmise aux noyaux suprachiasmatiques principalement par la voie rétino-hypothalamique (VRH). Il s'agit d'une voie monosynaptique, distincte de la voie visuelle qui relie la rétine au cortex visuel. Cette voie implique un type particulier de cellules ganglionnaires de la rétine qui sont photosensibles et qui contiennent un type spécifique de photopigment appelé mélanopsine (Hattar, Liao, Takao, Berson et Yau, 2002). Les photorécepteurs traditionnels de la rétine, les cônes et les bâtonnets, ne sont pas nécessaires au processus d'entraînement de l'oscillateur circadien par la lumière. En effet, des souris sans cônes ni bâtonnets peuvent toujours entraîner leur horloge biologique et présenter des décalages de leurs rythmes suite à des expositions à des stimulus lumineux (Ebihara et Tsuji, 1980; Freedman et al., 1999).

Les cellules ganglionnaires forment également des projections vers le feuillet intergénéculé du thalamus qui, à son tour, projette vers les NSC. Cette voie géniculohypothalamique (VGH) transmet de manière indirecte l'information photique aux NSC (Moore, 1995).

La lumière perçue par la rétine réajuste continuellement l'horloge biologique en avançant ou retardant sa phase (Beersma et al., 1999). La force et la direction de la réponse varient en fonction de l'heure circadienne où le stimulus lumineux est reçu (Roenneberg et al, 2003a; Van Cauter et al., 1994; Minors, Waterhouse et Wirz-Justice, 1991). Ainsi, lorsque le Tmin est

utilisé comme marqueur de la phase circadienne, la courbe de réponse de phase (CRP) prédit un décalage maximal lorsque l'exposition à la lumière survient près du T_{min} . Un stimulus reçu avant le T_{min} entraîne un délai de phase alors qu'un stimulus reçu après produit une avance de phase. Aussi, la force de la réponse dépend de l'intensité ainsi que la durée du stimulus selon une courbe dose-réponse (Boivin, Duffy, Kronauer et Czeisler, 1996; Shanahan et Czeisler, 2000; Zeitzer, Dijk, Kronauer, Brown et Czeisler, 2000; Duffy et Wright, 2005).

Toutefois, ces CRP ont été établies en laboratoire en utilisant un seul stimulus lumineux. En conditions naturelles, l'effet circadien de la lumière dépendra également du moment et de l'intensité des autres périodes de lumière et d'obscurité au cours des 24 heures (Eastman et Martin, 1999). En effet, plusieurs études suggèrent que ce n'est pas l'intensité absolue du signal lumineux qui est importante pour l'entraînement circadien, mais plutôt son intensité relative, c'est-à-dire la manière dont l'horloge biologique l'« interprète » en fonction des autres intensités reçues au cours des 24 heures (Eastman, Stewart, Mahoney, Liu & Fogg., 1994; Jewett et al. 1997). Entre autres, une étude menée auprès d'infirmières de nuit a démontré que ce n'est ni l'intensité de la lumière à laquelle elles sont exposées, ni l'exposition ponctuelle à la lumière à certains moments de la journée qui sont associées à l'ajustement circadien, mais plutôt la distribution entière, sur les 24 heures, des moments d'exposition à une intensité lumineuse plus ou moins forte (Dumont, Benhaberou-Brun et Paquet, 2001). De plus, une autre étude a révélé que l'oscillateur circadien chez l'humain est sensible à la lumière tout au long de la journée subjective, et non pas uniquement au début ou à la fin de la nuit subjective (Jewett et

al., 1997). Néanmoins, les effets circadiens des profils quotidiens d'exposition à la lumière et à l'obscurité ont très peu été étudiés jusqu'à maintenant.

Les chronotypes

La caractéristique individuelle appelée « chronotype » se distribue dans la population de façon quasi-normale; les types du matin et du soir constituent respectivement environ 15% de la population chez les jeunes adultes, les autres étant classifiés comme étant de type intermédiaire (Posey et Ford, 1981). Cette caractéristique est habituellement évaluée à l'aide d'un questionnaire, le plus couramment utilisé étant le *Morningness-Eveningness Questionnaire* (MEQ) de Horne et Östberg (1976). Les scores à ce questionnaire varient de 16 à 86, les scores élevés (59 à 86) correspondant aux types du matin (types M) et les scores faibles (16 à 41) correspondant aux types du soir (types S). Les scores entre 42 et 58 représentent les types intermédiaires.

Comparativement à la population générale, les types M se couchent et se lèvent plus tôt et présentent leur maximum de vigilance plus tôt au cours de la journée, alors que l'inverse est vrai pour les types S (Foret, 1982; Kerkof, 1991; Lack and Bailey, 1994; Natale et Cicogna, 1996, 2002; Mongrain et al., 2004). Ils ont aussi généralement une phase circadienne plus avancée comparativement aux types du soir. Cette différence est illustrée par des marqueurs physiologiques tels que l'heure du minimum de température corporelle (Tmin) et l'heure du début de sécrétion de la mélatonine (DLMO), qui se produisent en moyenne de 1,5 à 2 h plus

tôt chez les types M que les types S (Lack et Bailey, 1994; Duffy et al., 1999; Baehr et al., 2000; Bailey and Heitkemper, 2001; Mongrain et al., 2004).

Comme la propension au sommeil est largement sous le contrôle de l'oscillateur circadien, on pourrait s'attendre à ce que les types M et les types S se couchent et se lèvent à la même heure circadienne. De manière surprenante, des études ont montré que l'angle de phase (l'intervalle entre le minimum de température et l'heure habituelle du lever) était différent chez les types M et les types S (Kerkhof, 1991; Duffy et al., 1999, Baehr, Revelle et Eastman, 2000). En effet, il semble que les types S se lèvent plus tôt par rapport à leur phase circadienne, présentant ainsi un angle de phase plus court que les types M. Cependant, dans la plupart de ces études, l'horaire de sommeil des sujets étaient influencés par des contraintes extérieures (e.g. travail, école, etc.) et ne correspondait pas nécessairement à un horaire qu'ils auraient adopté spontanément. En effet, très peu d'études ont été conduites avec des sujets qui étaient libres de suivre leur horaire spontané et ce facteur pourrait expliquer la différence d'angle de phase. Par exemple, le fait que les types S se lèvent plus tôt par rapport à leur phase circadienne que les types M pourrait s'expliquer par le fait qu'ils sont forcés à se lever plus tôt que ce qu'ils feraient spontanément à cause de contraintes sociales, alors que les contraintes sociales n'affecteraient pas l'heure de lever des types M qui se lèvent déjà tôt spontanément. Ainsi, dans ces études, les types S ne se lèveraient pas à l'heure prescrite par leur horloge interne alors que les types du matin auraient la possibilité de le faire. Une étude a mesuré les angles de phases chez les types M et les types du S qui n'avaient pas de contraintes extérieures sur leur horaire de sommeil (Mongrain et al., 2004). Dans cette étude, il n'y avait pas de différence d'angle de

phase entre les deux groupes, confirmant l'hypothèse que lorsqu'ils sont libres de leur horaire, les types S se lèvent plus tard par rapport à leur phase circadienne.

L'hypothèse dominante pour expliquer le phénomène des chronotypes est une différence de période endogène de l'oscillateur circadien entre les types du matin et les types du soir. Cette idée est supportée par les résultats d'une étude qui démontre une association entre le score de chronotype et la période endogène, la matinalité étant associée à une période plus courte (Duffy, Rimmer et Czeisler, 2001). Ces résultats pourraient bien expliquer les horaires de sommeil déphasés par rapport au cycle jour-nuit des types du matin et des types du soir. En effet, un entraînement sur un cycle jour-nuit de 24 heures se stabilisera à une phase plus hâtive lorsque la période endogène est courte et à une phase plus tardive lorsque la période est longue (Ronneberg, 2003a).

Les différences individuelles de période endogène pourraient s'expliquer par des particularités au niveau des gènes responsables de la périodicité de l'horloge biologique (Katzenberg et al., 1998). En effet, une douzaine de gènes (avec des noms tels que *Period*, *Clock* et *Chryptochrome*) ont été identifiés chez l'humain et auraient pour fonction d'orchestrer les cycles éveil-sommeil. Par exemple, le gène *Period3* a été associé au syndrome de sommeil en délai de phase (SSDP), un trouble du sommeil qui peut être considéré comme un chronotype du soir extrême (Ebisawa et al., 2001). Des variations au niveau du même gène ont également été associées à la tendance naturelle à être un «couche-tard» ou un «lève-tôt» (Archer et al., 2003). Bien qu'un lien génétique semble clairement établie chez les chronotypes, il est

important de comprendre qu'il ne s'agit pas d'une transmission de type mendélienne et que d'autres facteurs peuvent jouer un rôle déterminant.

Les types du matin et les types du soir ont également été associés à des différences au niveau de la régulation homéostatique du sommeil (Taillard, Philip, Coste, Sagaspe et Bioulac, 2003; Mongrain, Carrier et Dumont, 2005; Mongrain, Carrier et Dumont, 2006a). Notamment, les types du matin montrent une dissipation plus rapide de la pression homéostatique au sommeil que les types du soir (Mongrain et al., 2006a). Par contre, cette différence est plus spécifiquement observée chez un sous-groupe particulier constitué de types du matin et de types du soir ayant des phases circadiennes similaires (Mongrain, Carrier et Dumont, 2006b). En effet, une récente étude a révélé l'existence de types M et de types S ayant des horaires de sommeil différents, mais présentant des phases circadiennes de température corporelle et de sécrétion de mélatonine similaires (Mongrain et al., 2004). Les types du matin et les types du soir peuvent donc être classés en deux sous-groupes; les individus ayant une phase circadienne intermédiaire (similaire à celle rapportée chez les chronotypes intermédiaires), et les individus ayant une phase circadienne extrême (i.e. une phase plus avancée pour les types M et plus retardée chez les types S). Il est probable que les facteurs qui déterminent l'horaire de sommeil des chronotypes ayant une phase circadienne intermédiaire sont différents de ceux qui expliquent l'horaire de sommeil des chronotypes ayant une phase circadienne extrême. Pour les premiers, ceci serait expliqué par la différence au niveau de la régulation homéostatique du sommeil alors que pour le second groupe, la différence au niveau de la phase d'entraînement

entre le cycle jour-nuit et l'horaire de sommeil pourrait être expliquée par une différence au niveau de la période circadienne endogène.

D'autres caractéristiques ont été associées aux types du matin et aux types du soir. Notamment, cette préférence varie en fonction de l'âge, les personnes âgées étant davantage lève-tôt que les jeunes (Tankova, Adan et Bucla-Casal, 1994). De plus, plusieurs études rapportent une plus grande matinalité chez les femmes que chez les hommes (Gibertini, Graham et Cook, 1999; Baehr et al., 2000; Adan et Natale, 2002). Finalement, des traits de personnalité tels que l'extraversion ont été associés aux types du soir (Adan et Almira, 1992) et une association entre le mois de naissance et la typologie circadienne a même été rapportée (Natale et Adan, 1999; Natale, Adan et Chotai, 2002; Mongrain, Paquet, Dumont, 2006c). Ainsi, le fait d'être un type du matin ou un type du soir semble être déterminé par une combinaison de plusieurs facteurs endogènes et externes et représente un phénomène plus complexe qu'une simple question de préférence individuelle.

Exposition à la lumière et chronotypes

Comme la lumière est le principal synchroniseur de l'horloge biologique avec le cycle jour-nuit extérieur, le profil d'exposition à la lumière des individus pourrait avoir un impact considérable dans le fait d'être un type M ou un type S. Tout d'abord, selon le principe d'entraînement circadien à la lumière (Roenneberg et al., 2003a; Van Cauter et al., 1994; Minors et al., 1991), il est possible que la lumière à laquelle sont exposés les types M et les types S puisse expliquer la phase hâtive des types M et la phase tardive des types S. En effet, comme les types M se lèvent

tôt, il est probable que la lumière qu'ils reçoivent le matin contribue à maintenir ces individus en avance de phase. De la même manière, comme les types S se lèvent et se couchent tard, il est possible que la lumière qu'ils reçoivent, particulièrement tard en soirée, entraîne un délai de phase. De plus, comme les types S et les types M pourraient présenter des périodes différentes, le cycle lumière-obscurité pourrait alors entraîner les rythmes circadiens des types du matin et des types du soir différemment afin qu'ils puissent se stabiliser sur un cycle de 24 heures (Duffy et Wright, 2005). Par exemple, les types M présentant une période endogène plus courte que 24 heures ont besoin d'un profil lumineux qui favorise un délai de phase afin d'éviter que leurs rythmes circadiens ne surviennent toujours de plus en plus tôt. Pour leur part, les types S ayant une période endogène plus longue que 24 heures ont besoin d'un profil de lumière qui favorise une avance de phase. Concrètement, cela signifie que les types M doivent être exposés à la lumière avant leur T_{min} alors que les types S doivent être exposés à la lumière plutôt après leur T_{min}. Les types M et les types S exigent donc des profils de lumière différents par rapport à leur phase circadienne afin que leurs rythmes soient maintenus à l'intérieur du cycle jour-nuit de 24 heures.

Étonnamment, rien n'est encore connu sur la relation entre les chronotypes et le profil d'exposition à la lumière. Une étude récente chez les chronotypes présentant des données rapportées par les sujets (*self-reports*) a trouvé qu'une plus grande période de temps passé à l'extérieur en lumière vive est associée à un horaire de sommeil plus avancé (Roenneberg, Wirz-Justice et Mellow, 2003b). Une autre étude chez les étudiants Japonais âgés entre 12 et 15 ans a révélé de façon similaire que les individus qui rapportent passer plus de temps à

l'extérieur durant les pauses et l'heure du lunch sont davantage type du matin que ceux qui rapportent rester à l'intérieur (Harada, Morisane et Takeuchi, 2002). Ces résultats suggèrent que l'augmentation du contraste lumière-obscurité pourrait aussi affecter la phase circadienne en augmentant la force du zeitgeber. Cependant, ces études sont basées uniquement sur des informations rapportées par les sujets dans des questionnaires. Une évaluation appropriée de l'association entre le profil d'exposition à la lumière et la phase circadienne nécessite des mesures plus précises et objectives.

Mesure ambulatoire de la lumière

L'utilisation de photomètres ambulatoires constitue une méthode plus précise et objective de mesurer la lumière dans le cadre d'études en milieu naturel chez les humains. L'avantage de cette méthode est qu'elle permet de mesurer l'illumination reçue 24 h par jour pendant que le sujet effectue ses activités habituelles. Comme les moniteurs sont normalement portés au poignet, ils ne mesurent pas directement la lumière reçue par la rétine. Néanmoins, une étude a démontré une excellente corrélation entre la mesure de la lumière par un moniteur placé au poignet et la mesure de la lumière par un moniteur placé au front (Cole, Kripke, Gruen et Nava, 1990). De plus, cette méthode a été utilisée avec succès dans plusieurs études. Entre autres, des études ont établi, à partir de données d'exposition à la lumière en milieu naturel, les profils d'exposition à la lumière sur 24 h chez différentes populations (Dumont et al, 2001; Kawinska, Dumont, Selmaoui, Paquet et Carrier, 2005). Dans ces études, les profils d'exposition à la lumière ont été mis en lien avec des mesures de phase circadiennes.

Cependant, jusqu'à maintenant, aucune étude n'a présenté les profils de lumière chez les chronotypes.

Objectifs et hypothèses

Comme les types M et les types S présentent un horaire de sommeil différent par rapport au cycle jour-nuit extérieur, on peut s'attendre à ce que leur profils d'exposition à la lumière présentent également des différences. Puisque très peu est connu sur la relation entre les chronotypes et les profils d'exposition à la lumière, l'objectif de cet étude est surtout de nature descriptive. Deux hypothèses peuvent toutefois être émises quant aux types de profils lumineux auxquels sont exposés les deux groupes.

- 1- Comme les types du matin se lèvent plus tôt à l'intérieur de la photopériode, il est attendu qu'ils recevront plus de lumière vive que les types du soir, particulièrement le matin. On peut s'attendre également à observer des profils d'exposition à la lumière différents par rapport à l'heure de la journée. Plus précisément, les types du matin devraient recevoir plus de lumière le matin alors que les types du soir devraient recevoir davantage de lumière le soir.
- 2- S'il est vrai que l'oscillateur circadien des types du matin et les types du soir a une période endogène différente, il est attendu que les deux groupes présenteront des profils d'exposition à la lumière différents par rapport à leur phase circadienne individuelle. Par exemple, il est probable que les types du matin présenteront un profil de lumière plus retardé par rapport à leur phase circadienne que chez les types du soir afin que le cycle-lumière obscurité favorise un délai de phase chez les types du matin.

Article

DAILY LIGHT EXPOSURE IN MORNING-TYPE AND EVENING-TYPE INDIVIDUALS

Geneviève GOULET^{1,2}, Valérie MONGRAIN^{1,3}, Catherine DESROSIERS¹,
Jean PAQUET¹ and Marie DUMONT^{1,3,4}

¹Chronobiology Laboratory, Sacré-Cœur Hospital of Montréal; ²Department of Psychology,
³Department of Neurosciences, and ⁴Department of Psychiatry,
Université de Montréal, Québec, Canada

Revised version of MS 06-070 submitted for publication in: *J Biol Rhythms*

November 20, 2006

15 pages of text, 1 table, and 2 illustrations.

Running title: Daily Light Exposure in Morning and Evening Types

Corresponding author:

Marie Dumont, Ph.D.
Chronobiology Laboratory
Sacré-Cœur Hospital
5400 Gouin Blvd West
Montréal (Québec)
Canada, H4J 1C5
Tel: (514) 338-2222 ext. 2246
Fax: (514) 338-2531



Abstract

Morning-type individuals (M-types) have earlier sleep schedules than do evening types (E-types) and therefore differ in their exposure to the external light-dark cycle. M-types and E-types usually differ in their endogenous circadian phase as well, but whether this is the cause or the consequence of the difference in light exposure remains controversial. In this study, ambulatory monitoring was used to measure 24-hour light exposure in M-type and E-type subjects for seven consecutive days. The circadian phase of each subject was then estimated in the laboratory using the dim light melatonin onset in saliva (DLMO) and the core body temperature minimum (Tmin). On average, M-types had earlier sleep schedules and earlier circadian phases than E-types. They also showed more minutes of daily bright light exposure (> 1000 lux) than E-types. As expected, the 24-hour patterns of light exposure analyzed in relation to clock time indicated that M-types were exposed to more light in the morning than E-types, and that the reverse was true in the late evening. However, there was no significant difference when the light profiles were analyzed in relation to circadian phase, suggesting that, on average, the circadian pacemaker of both M-types and E-types was similarly entrained to the light-dark cycle they usually experience. Some M-types and E-types had different sleep schedules but similar circadian phases. These subjects also had identical light profiles in relation to their circadian phase. By contrast, M-types and E-types with very early or very late circadian phases showed large differences in their profiles of light exposure in relation to their circadian phase. This observation suggests that in these individuals, early or late circadian phases are related to relatively short and long circadian periods, and that a phase-delaying profile of light exposure in M-types and a phase-advancing profile in E-types is necessary to

ensure a stable entrainment to the 24-hour day.

Keywords: Morningness-eveningness, chronotype, light exposure, circadian phase, circadian period, sleep schedule, ambulatory recordings, entrainment.

Introduction

Compared to the general population, some people are morning types (M-types) and others are evening types (E-types). M-types have earlier sleep schedules and earlier diurnal peaks of alertness and performance than do E-types (Foret, 1982; Kerkhof, 1991; Natale and Cicogna, 1996). M-types also usually have an earlier circadian phase than E-types, as indicated by physiological phase markers such as the minimum of core body temperature (T_{min}) and the onset of melatonin secretion in dim light (DLMO) (Duffy et al., 1999; Baehr et al., 2000; Bailey and Heitkemper, 2001).

Causal factors of morning-evening preference are still largely unknown and are probably multi-dimensional. A shorter circadian period can predict an earlier phase of entrainment (Aschoff, 1981; Roenneberg et al., 2003a), and this factor may play an important role in the determination of early and late circadian phases associated with morningness-eveningness (Baehr et al., 2000; Dijk and Lockley, 2002; Duffy et al., 2001). Circadian phase during entrainment also depends on the strength of the zeitgeber (e.g., on the amplitude of the difference between daytime and nighttime light intensity) (Roenneberg et al., 2003a). Exposure to sunlight in the daytime increases the amplitude of the light-dark signal and questionnaire studies have found that individuals with earlier sleep schedules spend more time outdoors in bright light than do subjects who go to bed later (Harada et al., 2002; Roenneberg et al., 2003b). Finally, the influence of the light-dark cycle on circadian phase depends largely on the timing of light and darkness (Czeisler et al., 1989; Van Cauter et al., 1994; Khalsa et al., 2003) and on the variations in light intensity over the entire 24-hour period (Jewett et al., 1997;

Beersma et al., 1999). However, 24-hour profiles of light exposure have never been reported in chronotypes.

The first aim of this paper is to describe the profiles of 24-hour light exposure in M-types and E-types allowed to follow their preferred sleep schedule.

In addition to describing variations of light exposure according to clock time, we also compare light exposure as expressed in relation to each subject's circadian phase. To maintain a stable 24-hour entrainment, daily light exposure should contribute to a phase delay in individuals with short endogenous periods and produce a phase advance in those having long circadian periods (Duffy and Wright, 2005). As morningness-eveningness has been associated with differences in the endogenous period (Duffy et al., 2001), it was expected that the profiles of light exposure in relation to circadian phase would differ between M-types and E-types to enable them to achieve a stable phase of entrainment within the 24-hour light-dark cycle. We previously reported that our subjects can be divided into two subgroups, according to their circadian phase (Mongrain et al., 2004). Some M-types and E-types had extremely early or late circadian phases associated with early or late preferred sleep schedules, respectively. These are the subjects for which a difference in endogenous period would be expected. However, some M-types and E-types had early or late sleep schedules but similar, intermediate circadian phases. In these individuals, the source of morningness-eveningness seems to be related mainly to the parameters of homeostatic regulation of sleep pressure (Mongrain et al., 2006). The second aim of this paper is to compare the profiles of light exposure between the subgroups of M-types and

E-types. We expected that differences in light profiles in relation to circadian phase would be found specifically between M-types and E-types with extremely early or extremely late circadian phases.

Methods

Subjects

Twelve M-types and 12 E-types, aged 19 to 34 years, were selected according to their score on a French version of the morningness-eveningness questionnaire (MEQ) of Horne and Östberg (1976). All subjects had minimal external constraints on their sleep schedule. None were attending school and only four were working, one E-type in the afternoon and three M-types at home with their own schedule. One subject in each group had young children at home. Selected volunteers had wake times and bedtimes that varied by less than ± 1 hour over the week and had an habitual sleep duration of seven to nine hours. None had worked night shifts in the past year or traveled to another time zone in the past three months. All subjects were healthy non-smokers who reported no drug or medication use, exceptions being five women (three M-types and two E-types) who reported use of hormonal contraceptives. Women not using hormonal contraception were studied during the follicular phase of their menstrual cycle. More details on subject selection can be found in Mongrain et al. (2004). Subjects signed an informed consent form approved by the hospital's ethics committee and received financial compensation.

Procedures

Ambulatory recordings. The first seven days of the study consisted of ambulatory recording of

activity and light exposure of the subjects living in their usual environment. The ambulatory monitor (Actiwatch-L, Mini-Mitter/Respironics Inc., Bend, OR) recorded both light exposure (in lux) and activity counts on a minute-by-minute basis. Subjects were instructed to wear the monitor twenty-four hours a day on their non-dominant wrist and to keep the monitor uncovered by clothing. Participants recorded in a diary wake times and bedtimes, time spent outdoors, and times when they removed the monitor (e.g., for showers). During the seven days of ambulatory recording, subjects had to respect target bedtimes and wake times individually chosen according to preference when free of external constraints. An eight-hour sleep duration was targeted; since an interval of ± 30 min was allowed for both bedtime and wake time, actual sleep duration varied between seven and nine hours. Subjects of the two groups were studied in random order between May and September over three consecutive years in Montréal, Canada ($45^{\circ} 31'$ N). During the study, sunrise varied between 05:06h and 05:54h, and sunset between 20:03h and 20:47h.

Four different Actiwatch-L monitors were used in this study. A calibration was conducted at the beginning of the study for each monitor. Seventeen intensities (4 to 5000 lux) from an artificial light source were used to compare simultaneously the readings of the monitors with those of a research photometer (IL1400A Photometer with SEL033/Y/W sensor; International Light, Newburyport, MA, USA). To standardize the estimates of light intensity across all monitors, every minute of light data recorded during the study was then adjusted based on the differences found with the photometer.

Circadian measures. Detailed procedures concerning the assessment of circadian phase in these subjects, summarized here, can be found in Mongrain et al. (2004). Subjects were admitted to the chronobiology laboratory immediately after the week of ambulatory recording. Circadian phase was estimated using the core body temperature minimum (Tmin) and the dim-light melatonin onset in saliva (DLMO). Subjects were admitted to the laboratory four hours before their scheduled bedtime and slept for eight hours according to their individual sleep schedule. Temperature recording started on admission and continued for the next 26 hours. Tmin was estimated by cosinor analysis (Nelson et al., 1979). To determine the DLMO, saliva samples were collected every half-hour in dim light (< 15 lux). Sampling started five hours before bedtime on the second day, for a total of 11 samples. Salivary melatonin concentration was determined in duplicate by radioimmunoassay (ALPCO Diagnostics, reagents from Bühlmann Laboratories AG, Switzerland). DLMO was defined as the interpolated clock time of a melatonin concentration equal to twice the minimum detection limit of the assay (i.e., 1.3 pg/ml), when followed by a further increase in melatonin concentration (Deacon and Arendt, 1994).

Data analysis

Light data recorded while the subjects were not wearing the monitor were removed from the analyses. This included periods identified as such in the subject's diary and daytime recordings when ambulatory data indicated no activity for more than 30 consecutive minutes. Days that contained more than 10% of missing data were then excluded. Finally, subjects with fewer than two days of valid data (three subjects) or more than 20% of time spent below 0.1 lux (i.e.,

monitor covered with a piece of clothing) (two subjects) were excluded. The results of nine M-types (5 W, 4 M; MEQ score: 65.1 ± 1.3) and ten E-types (5 W, 5 M; MEQ score: 32.8 ± 1.4) were thus included in the analyses.

Bedtimes and wake times were estimated using both subjects' sleep diaries and activity and light data recorded by the ambulatory monitor. The mean number of minutes per day with a light intensity higher than 1000 lux was compared between the two groups using t-tests. The 1000 lux threshold is an approximation of exposure to sunlight (Cole et al., 1995; Guillemette et al., 1998). For the analysis of the daily pattern of light exposure, data were first log-transformed and, for each subject, averaged over each hour that included a minimum of 30 minutes of valid data. Each hourly mean included at least four days. Group-by-Time ANOVAs were used to compare the 24-hour profiles of the two groups. Profiles of light exposure were examined in relation to clock time and to circadian phase estimates (DLMO and Tmin). Huynh-Feldt correction was applied for repeated measures but original degrees of freedom are presented. Data are reported in mean \pm SEM.

Results

Circadian phase and sleep schedule

As shown in Table 1, wake times and bedtimes were significantly different between M-types and E-types for all subjects as well as within the subgroups with intermediate or extreme circadian phases. On average, M-types went to bed 2.5 hours earlier and woke up 2.7 hours

earlier than E-types. No significant difference was found for sleep duration. For the entire group of subjects, circadian phases of melatonin and core body temperature rhythms were earlier in M-types than in E-types, with a difference of about 2.4 hours for DLMO and 1.7 hours for Tmin (temperature data missing for one subject). The phase angle, calculated between DLMO and wake time, was similar in the two groups. Five M-types and five E-types with valid light measurements had “intermediate” phases (range DLMO: 21:07–23:04 h); four M-types and five E-types had extremely early (range DLMO: 17:25–20:59 h) or extremely late (range DLMO: 23:57–01:35 h) circadian phases. In subjects with intermediate phases, averaged phase angle was shorter in M-types than in E-types ($p = 0.01$, Table 1). Conversely, in subjects with extreme circadian phases, phase angles tended to be longer in M-types than in E-types, although the difference was not statistically significant ($p = 0.09$, Table 1).

***** PLEASE INSERT TABLE 1 ABOUT HERE: 2 COLUMNS WIDE, 2.5 INCHES IN HEIGHT *****

Light exposure

On average, M-types were exposed to bright light (> 1000 lux) more often than E-types: 148.2 minutes \pm 23.0 compared to 94.1 minutes \pm 13.6 per day, respectively ($p = 0.05$). Figure 1A presents the 24-hour pattern of light exposure in relation to clock time for all M-types and E-types. There was a significant Group-by-Time interaction ($F_{23,391} = 6.55$, $p < 0.001$), showing that M-types were exposed to higher light intensity in the morning, between 07:00h and 11:00h, compared to E-types. Conversely, light intensity received in the late evening and early night (between 23:00h and 03:00h) was higher in E-types than in M-types. The Group effect was not significant ($F_{1,17} = 1.19$, $p = 0.29$). Profiles of light exposure calculated in relation to

circadian phase estimated with DLMO are shown in Figure 1B. Light exposure seemed slightly greater in M-types than in E-types during the few hours preceding DLMO, but there was no significant Group-by-Time interaction ($F_{23,391} = 1.70$, $p = 0.15$). The same analyses conducted on light data in relation to Tmin yielded similar results ($F_{23,368} = 1.14$, $p = 0.30$).

***** PLEASE INSERT FIGURE 1 ABOUT HERE: 1 COLUMN WIDE, 5 INCHES IN HEIGHT *****

Exposure to bright light (> 1000 lux) differed between M-types and E-types with extreme circadian phases (159.9 ± 9 min vs. 69.1 ± 8 min, respectively; $p < 0.01$) but not between those with intermediate phases (M-types: 125.4 ± 20 min, E-types: 110.1 ± 31 min; $p = 0.72$). Profiles of light exposure in relation to clock time are presented in Figure 2A. In the two subgroups of subjects, the differences in 24-hour profiles of light exposure between M-types and E-types were similar to those observed in the entire sample. However, those differences were larger between the subjects with extreme circadian phases (Group-by-Time interaction: $F_{23,161} = 9.10$; $p < 0.001$) than between M-types and E-types with intermediate circadian phases (Group-by-Time interaction: $F_{23,184} = 2.05$; $p < 0.01$).

Profiles of light exposure in relation to circadian phase were significantly different between M-types and E-types only in the subgroup of subjects with extremely early or extremely late circadian phases. As illustrated in Figure 2B (right panel), a significant interaction was found when the light profiles were analyzed in relation to DLMO ($F_{23,161} = 9.35$, $p < 0.001$). M-types received more light than E-types during the interval from three hours before to three hours after DLMO ($p = 0.08$ at 2 h after DLMO), and E-types were exposed to more light than M-types

from the 10th to the 12th hour after DLMO. Similar results were found when light profiles were analysed in relation to Tmin (Group-by-Time interaction: $F_{23,161} = 5.33$, $p < 0.001$), with M-types having more light from the 11th to the 8th hour before Tmin; E-types tended to receive more light after Tmin, but the difference was not significant ($p = 0.07$ at 3 h after Tmin). Light profiles in relation to circadian phase were similar in M-types and E-types with intermediate circadian phases (Group-by-Time interaction: DLMO: $F_{23,184} = 1.37$, $p = 0.13$, Fig. 2B, left panel; Tmin: $F_{23,161} = 0.98$, $p = 0.50$).

***** PLEASE INSERT FIGURE 2 ABOUT HERE: 2 COLUMNS WIDE, 5 INCHES IN HEIGHT *****

Discussion

In accordance with previous questionnaire studies (Harada et al., 2002; Roenneberg et al., 2003b), our data collected with ambulatory monitoring showed that M-types received more bright light (> 1000 lux) than E-types during the day. Daily bright light exposure of M-types averaged 148 minutes, similar to the 157 minutes reported in young adults studied in the summer at the same latitude (Hébert et al., 1998). E-types, with a daily exposure to bright light of 94 minutes, seem therefore to be underexposed to sunlight compared to the general population. Decreased daytime bright light exposure represents a diminished strength of the light-dark zeitgeber. Since most people have a free-running period longer than 24 hours (Czeisler et al., 1999), low exposure to bright light may contribute to the expression of a later phase in E-types (Roenneberg et al., 2003a).

Compared to E-types, M-types were exposed to higher light intensity in the morning and to

lower light intensity in the evening (Fig. 1A). These differences were expected and parallel the differences in wake time and bedtime between the two groups (Table 1). The observed daily profiles of light exposure are also consistent with known mechanisms of entrainment, with morning light associated with an earlier circadian phase. However, a causal relationship cannot be established since an earlier circadian phase can also entrain the sleep schedule to an earlier clock time, producing the differences in light exposure. The close correspondence between our data and expected results does nevertheless validate the light patterns obtained with our ambulatory recordings. Obviously, light intensities measured with the wrist photosensor cannot represent the true retinal light exposure since the orientation of the wrist differs from that of the retina. Furthermore, light to the retina can be filtered by sunglasses and, unfortunately, sunglass use was not documented in this study. However, even if absolute light intensities recorded by the wrist photosensor were not precise, the variations in light intensity throughout the day seem to represent adequately the pattern of light exposure of our subjects.

No significant difference was found between all M-type and all E-type subjects when light exposure was considered in relation to circadian phase (Fig. 1B). This result may indicate that the circadian pacemaker of both M-types and E-types was similarly entrained to the light-dark cycle they usually experience, or that statistical power was too low to reveal existing differences. We rather suggest that this lack of difference was due to the fact that only M-types and E-types with extremely early or extremely late circadian phases had different patterns of light exposure in relation to their circadian phase (Fig. 2B, right panel). It has been hypothesized that M-types with early circadian phases have endogenous periods shorter than 24

hours (Baehr et al., 2000; Duffy et al., 1999, 2001). Without appropriate entrainment by the light-dark cycle, these individuals should therefore advance their circadian phase progressively every day. Conversely, it has been hypothesized that E-types have endogenous periods longer than 24 hours and that they need a daily phase-advance in order to be entrained to the 24-hour day instead of delaying progressively every day. Light exposure close to DLMO, as found in M-types with extremely early circadian phases (Fig. 2B, right panel), produces a phase delay (Khalsa et al., 2003) and may therefore prevent a further advance of the circadian phase. Conversely, increased light exposure ten to twelve hours after DLMO, as observed in E-types with very late circadian phases, is in the phase-advance portion of the phase-response curve to light (Khalsa et al., 2003) and may prevent a further delay of the circadian phase. Unfortunately, the endogenous period was not assessed in our subjects. Therefore, even if our results are consistent with period differences in chronotypes with different circadian phases, this hypothesis will have to be confirmed in future studies using a combination of period, phase, and light exposure assessments.

These results contrast with those obtained in the subgroup of M-type and E-type subjects with intermediate circadian phases (Fig. 2B, left panel). M-types and E-types of this subgroup had similar circadian phases and similar light exposure in relation to their circadian phase. Since they had different sleep schedules, the two groups showed some differences in their light exposure in relation to clock time. However, these differences were modest compared to those observed between M-types and E-types with extreme circadian phases (Fig. 2A). The difference in their sleep schedule does not seem to be related to circadian characteristics, but

may instead originate from differences in homeostatic sleep regulation. We recently reported faster dissipation rates of homeostatic sleep pressure in M-types than in E-types of this subgroup (Mongrain et al., 2006). A faster dissipation of sleep pressure favors an earlier spontaneous awakening, producing the shorter phase angle between DLMO and wake time observed in these subjects (Table 1).

In this paper, 24-hour profiles of daily light exposure are described for the first time in relation to morningness-eveningness. We observed the expected differences in light profiles in relation to clock time, but differences in light profiles in relation to circadian phase were found only in subjects with very early or late circadian phases. These observations suggest that specific delaying or advancing profiles of light exposure are necessary to provide a stable circadian entrainment to the external 24-hour environmental cycle in individuals with, respectively, early or late circadian phases.

Acknowledgement

This study was supported by a research grant from the Canadian Institute of Health Research (MD), and by graduate fellowships from FRSQ (GG) and NSERC (VM).

References

- Aschoff, J. (1981). Freerunning and entrained circadian rhythms. In J. Aschoff (Eds.), *Handbook of Behavioral Neurobiology*, (pp. 81-93). New York: Plenum Press.
- Baehr, E.K., Revelle, W., & Eastman, C.I. (2000). Individual difference in the phase amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. *Journal of Sleep Research*, 9, 117-127.
- Bailey, S.L., & Heitkemper, M.M. (2001). Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: morningness-eveningness effects. *Chronobiology International*, 18, 249-261.
- Beersma, D.G.M., Daan, S., & Hut, R.A. (1999). Accuracy of circadian entrainment under fluctuating light conditions: contributions of phase and period responses. *Journal of Biological Rhythms*, 14, 320-329.
- Cole, R.J., Kripke, D.F., Wisbey, J., Mason, W.J., Gruen, W., Hauri, P.J., & Juarez, S. (1995). Seasonal variation in human illumination exposure at two different latitudes. *Journal of Biological Rhythms*, 10, 324-334.
- Czeisler, C.A., Duffy, J.F., Shanahan, T.L., Brown, E.N., Mitchell, J.F., Rimmer, D.W., et al. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177-2181.

- Czeisler, C.A., Kronauer, R.E., Allan, J.S., Duffy, J.F., Jewett, M.E., Brown, E.N., & Ronda, J.M. (1989). Bright light induction of strong (type 0) resetting of the human circadian pacemaker. *Science*, 244, 1328-1333.
- Deacon, S., & Arendt, J. (1994). Posture influences melatonin concentrations in plasma and saliva in humans. *Neuroscience Letter*, 167, 191-194.
- Dijk, D.J., & Lockley, S.W. (2002). Invited review: integration of human sleep-wake regulation and circadian rhythmicity. *Journal of Applied Physiology*, 92, 852-862.
- Duffy, J.F., Dijk, D.J., Hall, E.F., & Czeisler, C.A. (1999). Relationship of endogenous circadian melatonin and temperature rhythms to self-reported preference for morning or evening activity in young and older people. *Journal of Investigative Medicine*, 47, 141-150.
- Duffy, J.F., Rimmer, D.W., & Czeisler, C.A. (2001). Association of intrinsic circadian period with morningness-eveningness, usual wake time, and circadian phase. *Behavioral Neuroscience*, 115, 895-899.
- Duffy, J.F., & Wright, K.P. Jr. (2005). Entrainment of the human circadian system by light. *Journal of Biological Rhythms*, 20, 326-338.

- Foret, J. (1982). Sleep schedules and peak times of oral temperature and alertness in morning and evening 'types'. *Ergonomics*, 25, 821-827.
- Guillemette, J., Hébert, M., Paquet, J., Dumont, M. (1998). Natural bright light exposure in the summer and winter in subjects with and without complaints of seasonal mood variations. *Biological Psychiatry*, 44, 622-628.
- Harada, T., Morisane, H., & Takeuchi, H. (2002). Effect of daytime light conditions on sleep habits and morningness-eveningness preference of Japanese students aged 12-15 years. *Psychiatry & Clinical Neurosciences*, 56, 225-226.
- Hébert, M., Dumont, M., & Paquet, J. (1998). Seasonal and diurnal patterns of human illumination under natural conditions. *Chronobiology International*, 15, 59-70.
- Horne, J.A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.
- Jewett, M.E., Rimmer, D.W., Duffy, J.F., Klerman, E.B., Kronauer, R.E., & Czeisler, C.A. (1997). Human circadian pacemaker is sensitive to light throughout subjective day without evidence of transients. *American Journal of Physiology*, 273, R1800-R1809.

- Kerkhof, G.A. (1991). Differences between morning-types and evening-types in the dynamics of EEG slow wave activity during night sleep. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 78, 197-202.
- Khalsa, S.B., Jewett, M.E., Cajochen, C., Czeisler, C.A. (2003). A phase-response curve to single bright light pulses in human subjects. *The Journal of Physiology*, 549, 945-952.
- Mongrain, V., Lavoie, S., Selmaoui, B., Paquet, J., & Dumont, M. (2004). Phase relationships between sleep-wake cycle and underlying circadian rhythms in morningness-eveningness. *Journal of Biological Rhythms*, 19, 248-257.
- Mongrain, V., Carrier, J., & Dumont, M. (2006). Circadian and homeostatic sleep regulation in morningness-eveningness. *Journal of Sleep Research*, 15, 162-166.
- Natale, V., & Cicogna, P. (1996). Circadian regulation of subjective alertness in morning and evening 'types'. *Personality and Individual Differences*, 20, 491-497.
- Nelson, W., Tong, Y.L., Halberg, F., & Lee, J.K. (1979). Methods for cosinor-rhythmometry. *Chronobiologia*, 6, 305-323.
- Roenneberg, T., Daan, S., & Mellow, M. (2003a). The art of entrainment. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 183-194.

Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., & Mellow, M. (2003b). Life between clocks: Daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 80-90.

Van Cauter, E., Sturis, J., Byrne, M.M., Blackman, J.D., Leproult, R., Ofek, G., L'Hermite-Balériaux, M., Refetoff, S., Turek, F.W., & Van Reeth, O. (1994). Demonstration of rapid light-induced advances and delays of the human circadian clock using hormonal phase markers. *American Journal of Physiology*, 266, E953-E963.

Figure Legends

Figure 1.

Mean (and SEM) light exposure (in log lux) averaged for every hour over the week of ambulatory recording for morning types (open circles) and evening types (black circles). **A.** Results expressed in relation to clock time as indicated by the upper limit of the past 60 minutes. **B.** Results expressed in relation to the time of dim light melatonin onset (DLMO) in saliva: -1 includes light exposure at the time of DLMO, +1 starts with the minute following DLMO. Asterisks indicate significant inter-group differences ($p < 0.05$).

Figure 2.

Mean (and SEM) light exposure (in log lux) averaged for every hour over the week of ambulatory recording for morning types (open circles) and evening types (black circles) with intermediate (left panels) or extreme (right panels) circadian phases. **A.** Results expressed in relation to clock time as indicated by the upper limit of the past sixty minutes. **B.** Results expressed in relation to the time of dim light melatonin onset (DLMO) in saliva: -1 includes light exposure at the time of DLMO, +1 starts with the minute following DLMO. Asterisks indicate significant between-group differences ($p < 0.05$).

Table 1

Table 1. Sleep schedule and circadian phase estimates (mean \pm SEM) in morning-type (M-types) and evening-type (E-types) subjects, for all subjects and for sub-groups having intermediate or extreme circadian phases as estimated with the dim light melatonin onset (DLMO).

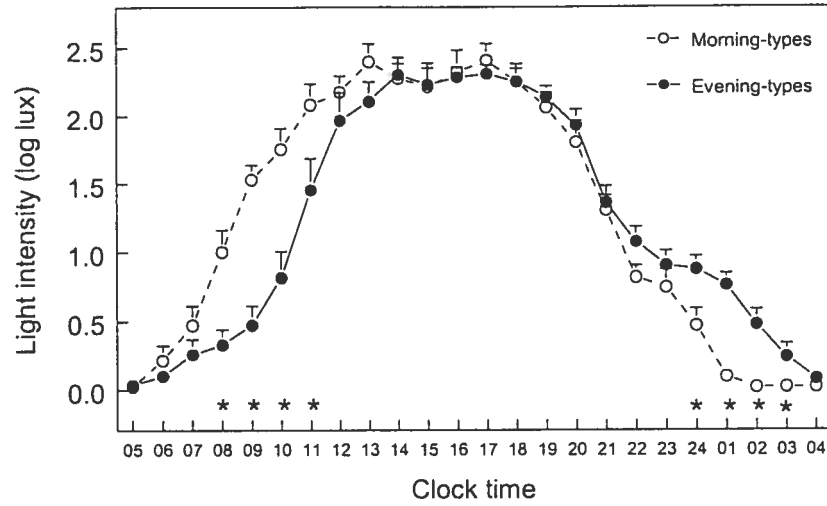
Phase angles were calculated between DLMO and wake time.

	All Subjects		Intermediate Phases		Extreme Phases	
	<i>M-types</i> (n = 9)	<i>E-types</i> (n = 10)	<i>M-types</i> (n = 5)	<i>E-types</i> (n = 5)	<i>M-types</i> (n = 4)	<i>E-types</i> (n = 5)
Bedtime (clocktime, h:min)	23:26 \pm 17'**	01:57 \pm 20'	23:51 \pm 10'**	01:04 \pm 10'	22:56 \pm 32'**	02:49 \pm 19'
Wake time (clocktime, h:min)	07:17 \pm 16'*	10:02 \pm 24'	07:24 \pm 13'*	09:22 \pm 31'	07:08 \pm 34'*	10:43 \pm 27'
Sleep duration (h:min)	7:51 \pm 11'	8:05 \pm 13'	7:33 \pm 13'	8:18 \pm 22'	8:12 \pm 13'	07:53 \pm 14'
DLMO (clocktime, h:min)	20:51 \pm 32'**	23:15 \pm 28'	21:57 \pm 18'	21:59 \pm 17'	19:29 \pm 41'**	00:30 \pm 18'
Tmin (clocktime, h:min) ^a	04:27 \pm 28'*	06:12 \pm 34'	05:21 \pm 27'	04:57 \pm 46'	03:33 \pm 32'**	07:27 \pm 21'
Phase angle (h:min)	10:26 \pm 25'	10:47 \pm 26'	9:28 \pm 17'*	11:22 \pm 32'	11:40 \pm 12'	10:12 \pm 39'

* : $p \leq 0.01$; ** : $p < 0.001$, compared to E-types. ^a Temperature data are missing for one M-type with intermediate phase.

Figure 1

A Clock Time



B DLMO

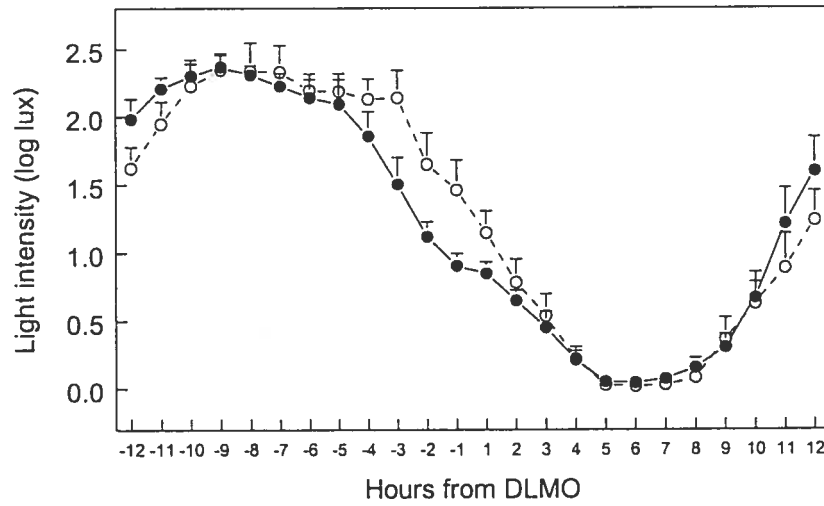
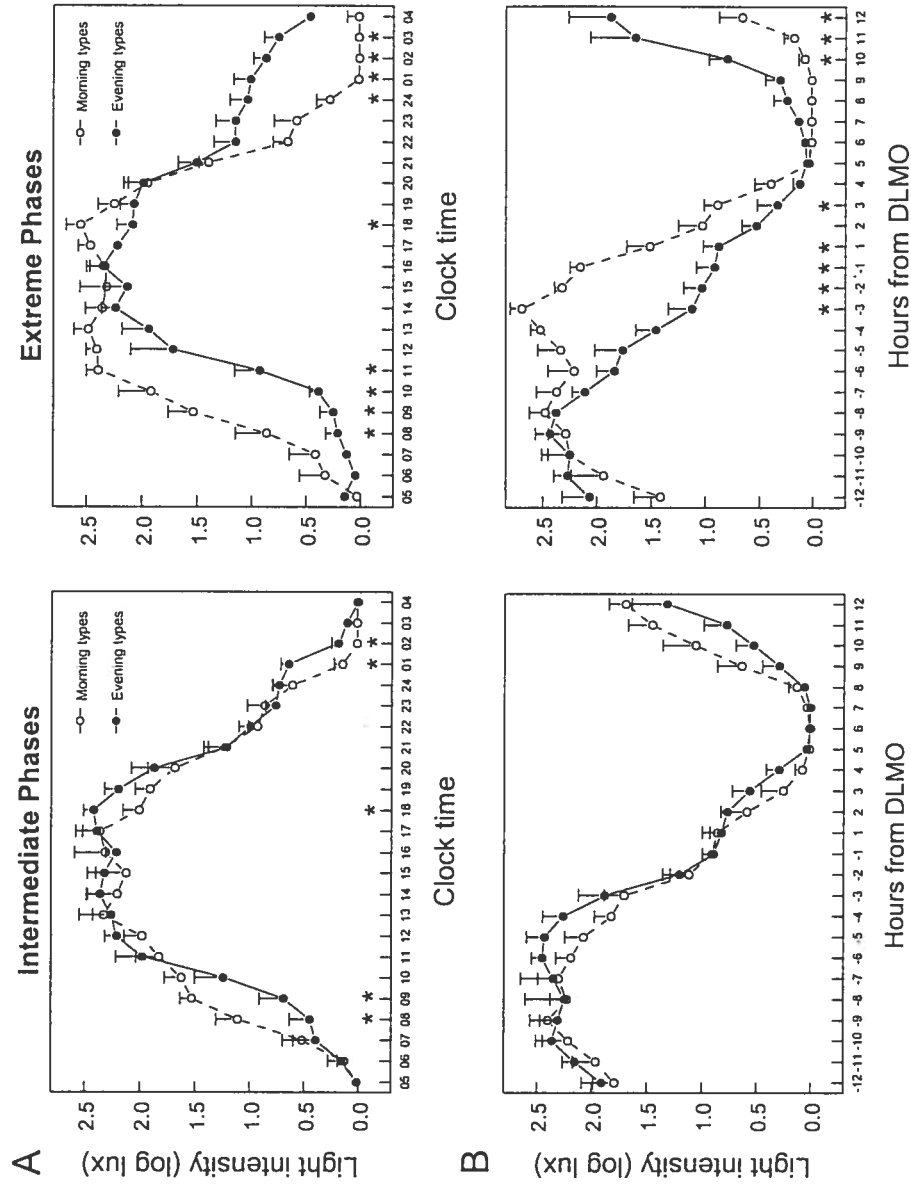


Figure 2



Conclusion

Dans cette étude, les mesures ambulatoires de lumière ont permis d'obtenir des informations pertinentes sur les profils de lumière reçus par les types du matin et les types du soir. Non seulement les deux groupes avaient des horaires de sommeil différents et des phases circadiennes différentes, mais les profils de lumière qu'ils recevaient présentaient également des différences. Notamment, les types du matin recevaient davantage de lumière vive (>1000 lux) que les types du soir. Ce résultat concorde avec ceux des études précédentes qui rapportent une association entre le temps passé à l'extérieur et la tendance à la matinalité (Ronneberg, 2003b; Harada et al., 2002). De plus, les types du matin diffèrent des types du soir quant aux profils lumineux qu'ils reçoivent en fonction de l'heure de la journée. Plus précisément, les types du matin recevaient davantage de lumière le matin que les types du soir alors que les types du soir recevaient plus de lumière en soirée que les types du matin. Ces résultats reflètent les différences d'horaire de sommeil entre les types du matin et les types du soir et viennent corroborer la validité de la méthode de mesure ambulatoire de la lumière qui a été utilisée.

Étonnamment, les profils de lumière en relation avec la phase circadienne n'ont présenté aucune différence significative entre les types du matin et les types du soir. Ceci suggère que les types du matin et les types du soirs sont entraînés de manière similaire au cycle lumière-obscureté qu'ils reçoivent habituellement, ce qui n'est pas congruent avec l'hypothèse d'une différence au niveau de la période de l'oscillateur circadien. Par contre, des analyses post hoc entre les sous-groupes identifiés par Mongrain et al. (2004) (i.e. groupes avec phases intermédiaires et groupes avec phases extrêmes) apportent des clarifications à ces résultats. En effet, chez le sous-groupe présentant des phases circadiennes extrêmes, une différence apparaît entre les types du matin et les types du soir quant à leurs profils lumineux par rapport à leur

phase circadienne. Le profil de lumière légèrement retardé des types du matin par rapport à celui des types du soir concorde avec l'hypothèse que l'oscillateur circadien des types du matin a une période endogène plus courte que celui des types du soir. Les types du matin ayant une période endogène plus courte que 24 h bénéficieraient de ce profil de lumière qui favorise un délai de phase et éviteraient ainsi que leurs rythmes circadiens surviennent toujours de plus en plus tôt. De manière équivalente, pour les types du soir ayant une période endogène plus longue, leur phase circadienne se serait stabilisée dans la zone du cycle lumière-obscurité qui favorise une avance de phase afin d'empêcher que leurs rythmes circadiens surviennent de plus en plus tard. Quant aux types du matin et aux types du soir présentant des phases circadiennes intermédiaires, aucune différence n'a été trouvée pour les profils lumineux en fonction de la phase circadienne. Ceci suggère que la différence d'horaire de sommeil entre les types du matin et les types du soir de ce sous-groupe serait attribuable à un autre facteur que la période endogène. Ces résultats viennent appuyer les études précédentes qui proposaient une différence au niveau de la période endogène pour le sous-groupe d'individus présentant des phases extrêmes et une différence au niveau de la régulation homéostatique du sommeil chez les individus ayant une phase circadienne intermédiaire.

Ces résultats obtenus chez les sous-groupes de sujets représentent une piste intéressante dans la compréhension du phénomène des chronotypes. Par contre, comme il s'agit d'analyses à posteriori et que ces groupes ne comprenaient que très peu de sujets, ils doivent être considérés de nature exploratoire et d'autres comparaisons devront être effectuées chez ces sous-groupes de sujets au cours d'études ultérieures. Une particularité importante de cette étude est qu'elle a été conduite avec des sujets qui n'avaient aucune contrainte d'horaire au moment de l'étude.

Ceci a fourni l'opportunité d'observer de véritables différences physiologiques associées aux différents chronotypes. Cependant, ces résultats pourraient ne pas être représentatifs de la vie de tous les jours où les individus sont contraints de se plier à un horaire qui ne correspond pas à leur horaire spontané à cause de l'école, du travail , etc.

Néanmoins, il s'agit de la première étude à mesurer de manière objective la lumière reçue par les types du matin et les types du soir et à présenter des profils lumineux sur 24 heures. Contrairement aux profils de lumière présentés par Kawinska et al.(2005), les résultats de notre étude n'ont pas été présentés en valeurs relatives, mais plutôt en pourcentage de la moyenne des valeurs absolues. L'utilisation des valeurs relatives n'était pas pertinente dans notre cas puisque aucune différence inter-groupe n'était présente au niveau de la quantité de lumière reçue sur 24 heures. Ainsi, les profils de lumière en valeurs relatives donneraient sensiblement les mêmes résultats que les profils en valeurs absolues.

La présente étude a été effectuée en été, le moment de l'année où la photopériode est la plus longue. Ainsi, il serait intéressant que des études subséquentes évaluent les profils de lumière chez les chronotypes en hiver, au moment où la photopériode est la plus courte afin d'avoir un portrait plus complet de la relation entre les profils lumineux et les chronotypes. De plus, il serait également pertinent d'élaborer un protocole expérimental qui ferait davantage que décrire les profils de lumière en milieu naturel. Effectivement, une étude contrôlée en laboratoire permettrait d'évaluer l'effet réel de la lumière sur les rythmes biologiques, dont le cycle éveil-sommeil, chez ces individus particuliers.

La possibilité de modifier efficacement le cycle éveil-sommeil chez les individus présentant un horaire de sommeil très matinal ou très tardif aurait des répercussions tant au niveau de la compréhension du phénomène qu'au niveau de la qualité de vie de ces individus. En effet, très peu de types du matin et de types du soir ont la chance de suivre un horaire qui correspond à leur horaire spontané. Les types du soir sont forcés à se lever plus tôt qu'ils le voudraient pour se plier à l'horaire de l'école ou du travail et les types du matin doivent parfois se coucher plus tard qu'ils le souhaiteraient lorsqu'ils s'engagent dans des activités sociales. D'ailleurs, une étude indique que les types du soir qui sont forcés par des contraintes sociales d'adopter un horaire très matinal présentent des répercussions négatives au niveau de leur vigilance et de leur performance cognitive et qu'il est possible de minimiser ces effets néfastes par un traitement à la lumière (Lajambe, 2001). Il est donc essentiel de bien comprendre les facteurs qui sont associés au fait d'être un type du matin ou un type du soir afin de pouvoir élaborer des outils qui favoriseront de meilleures conditions de vie pour ces individus. La présente étude a contribué à la compréhension du phénomène en se concentrant sur un de ces facteurs, le cycle lumière-obscurité.

Bibliographie

- Adan A, Almira H. (1992). The influence of age, work schedule and personality on morningness dimension. *International Journal of Psychophysiology*, 12, 95-99.
- Adan, A., & Natale, V. (2002). Gender differences in morningness-eveningness preference. *Chronobiology International*, 19, 709-720.
- Archer, S.N., Robilliard, D.L., Skene, D.J., Smits, M., Williams, A., Arendt, J. & von Schantz, M. (2003). A length polymorphism in the circadian clock gene Per3 is linked to delayed sleep phase syndrome and extreme diurnal preference. *Sleep*, 26, 413-415.
- Aschoff, J. (1981). Freerunning and entrained circadian rhythms. In J. Aschoff (Eds.), *Handbook of Behavioral Neurobiology*, (pp. 81-93). New York: Plenum Press.
- Baehr, E.K., Reville, W., & Eastman, C.I. (2000). Individual difference in the phase amplitude of the human circadian temperature rhythm: with an emphasis on morningness-eveningness. *Journal of Sleep Research*, 9, 117-127.
- Bailey, S.L., & Heitkemper, M.M. (2001). Circadian rhythmicity of cortisol and body temperature: morningness-eveningness effects. *Chronobiology International*, 18, 249-261.

- Beersma, D.G.M., Daan, S., & Hut, R.A. (1999). Accuracy of circadian entrainment under fluctuating light conditions: contributions of phase and period responses. *Journal of Biological Rhythms*, 14, 320-329.
- Boivin, D.B., Duffy, J.F., Kronauer, R.E., & Czeisler, C.A. (1996). Dose-response relationships for resetting of human circadian clock by light. *Nature*, 379, 540-542.
- Borbély, A.A., Wirz-Justice, A. (1982). Sleep, sleep deprivation and depression. *Human Neurobiology*, 1, 205-210.
- Cole, R.J., Kripke, D.F., Gruen, W., & Nava, J. (1990). Ambulatory monitoring of light exposure : comparison of measurements at forehead and wrist. *Sleep Research*, 19, 364.
- Czeisler, C.A., Duffy, J.F., Shanahan, T.L., Brown, E.N., Mitchell, J.F., Rimmer, D.W., et al. (1999). Stability, precision, and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. *Science*, 284, 2177-2181.
- Deacon, S., & Arendt, J. (1994). Posture influences melatonin concentrations in plasma and saliva in humans. *Neuroscience Letter*, 167, 191-194.
- Dijk, D.J., Czeisler, C.A. (1995). Contribution of the circadian pacemaker and the sleep homeostat to sleep propensity, sleep structure, electroencephalographic slow waves, and sleep spindle activity in human. *Journal of Neuroscience*, 15, 3526-3538.

- Dijk, D.J., & Lockley, S.W. (2002). Invited review: integration of human sleep-wake regulation and circadian rhythmicity. *Journal of Applied Physiology*, 92, 852-862.
- Duffy, J.F., Dijk, D.J., Hall, E.F., & Czeisler, C.A. (1999). Relationship of endogenous circadian melatonin and temperature rhythms to self-reported preference for morning or evening activity in young and older people. *Journal of Investigative Medicine*, 47, 141-150.
- Duffy, J.F., Rimmer, D.W., & Czeisler, C.A. (2001). Association of intrinsic circadian period with morningness-eveningness, usual wake time, and circadian phase. *Behavioral Neuroscience*, 115, 895-899.
- Duffy, J.F., & Wright, K.P. Jr. (2005). Entrainment of the human circadian system by light. *Journal of Biological Rhythms*, 20, 326-338.
- Duffy, J.F., & Dijk, D.J. (2002). Getting through to circadian oscillators: Why use constant routines? *Journal of Biological Rhythms*, 17, 4-13.
- Dumont, M., Benhaberou-Brun, D., & Paquet, J. (2001). Profile of 24-h light exposure and circadian phase of melatonin secretion in night workers. *Journal of Biological Rhythms*, 16, 502-511.

Eastman, C.I., Stewart, K.T., Mahoney, M.P., Liu, L. & Fogg, L.F. (1994). Dark goggles and bright light improve circadian rhythm adaptation to night-shift work. *Sleep*, 17, 535-543.

Eastman, C.I., Boulos, Z., Terman, M., Campbell S.S., Dijk, D.J., & Lewy, A.J. (1995). Light treatment for sleep disorders: consensus report. VI. Shift work. *Journal of Biological Rhythms*, 10, 157-164.

Eastman, C.I., & Martin, S.K. (1999). How to use light and dark. to produce circadian adaptation to night shift work. *Annals of Medecine*, 31, 87-98.

Ebihara, S., & Tsuji, K. (1980). Entrainment of the circadian activity rhythm to the light cycle: effective light intensity for a Zeitgeber in the retinal degenerate C3H mouse and the normal C57BL mouse. *Physiology & Behavior*, 24, 523-527.

Ebisawa T, Uchiyama M, Kajimura N, Mishima K, Kamei Y, Katoh M et al. (2001). Association of structural polymorphisms in the human period3 gene with delayed sleep phase syndrome. *EMBO Reports*, 2, 342-346

Foret, J. (1982). Sleep schedules and peak times of oral temperature and alertness in morning and evening 'types'. *Ergonomics*, 25, 821-827.

Freedman, M.S., Lucas, R.J., Soni, B., von Schantz, M., Muñoz, M.M., David-Gray, Z., et al.

Regulation of mammalian circadian behavior by non-rod, non-cone, ocular photoreceptors. *Science*, 284 502 - 504

Gibertini, M., Graham, C., & Cook, M.R. (1999). Self-report of circadian type reflects the phase of the melatonin rhythm. *Biological Psychology*, 50, 19-33.

Harada, T., Morisane, H., & Takeuchi, H. (2002). Effect of daytime light conditions on sleep habits and morningness-eveningness preference of Japanese students aged 12-15 years. *Psychiatry & Clinical Neurosciences*, 56, 225-226.

Hattar, S., Liao, H.-W., Takao, M., Berson, D.M., Yau, K.-W. (2002). Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*, 295, 1065 – 1070.

Hébert, M., Dumont, M., & Paquet, J. (1998). Seasonal and diurnal patterns of human illumination under natural conditions. *Chronobiology International*, 15, 59-70.

Horne, J.A., & Östberg, O. (1976). A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. *International Journal of Chronobiology*, 4, 97-110.

- Jewett, M.E., Rimmer, D.W., Duffy, J.F., Klerman, E.B., Kronauer, R.E., & Czeisler, C.A. (1997). Human circadian pacemaker is sensitive to light throughout subjective day without evidence of transients. *American Journal Physiology*, 273, R1800-R1809.
- Katzenberg, D., Young, T., Finn, L., Lin, L., King, D.P., Takahashi, J.S. et al. (1998). A clock polymorphism associated with human diurnal preference. *Sleep*, 21, 569-576.
- Kawinska, A., Dumont, M., Selmaoui, B., Paquet, J., & Carrier, J. (2005). Are modifications of melatonin circadian rhythm in the middle years of life related to habitual patterns of light exposure? *Journal of Biological Rhythms*, 20, 451-460.
- Kerkhof, G.A. (1991). Differences between morning-types and evening-types in the dynamics of EEG slow wave activity during night sleep. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 78, 197-202.
- Lack, L.C., & Bailey, M. (1994). Endogenous circadian rhythms of evening and morning types. *Sleep Research*, 23, 501.
- Lajambe, C.M. (2001). Sleep/wake disruptions in forced early awakening of evening-type persons and resetting of their circadian rhythms by dawn-simulated light treatment. *Dissertation Abstracts International*, 61, 4468.

- Leger, D., Guilleminault, C., Defrance, R., Domont, A., Paillard, M. (1999). Prevalence of sleep-wake disorders in persons with blindness. *Clinical Science*, 97, 193-199.
- Lewy, A.J., Wehr, T.A., Goodwin F.K., Newsome, D.A., & Markey, S.P. (1980). Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*, 210, 1267-1269.
- Lewy, A.J., Cutler, N.L., & Sack, R.L. (1999). The endogenous melatonin profile as a marker for circadian phase position. *Journal of Biological Rhythms*, 14, 227-236.
- Lockley, S. W., Skene, D. J., Arendt, J., Tabandeh, H., Bird, A. C., Defrance, R. (1997). Relationship between melatonin rhythms and visual loss in the blind. *Journal of clinical endocrinology and metabolism*, 82, 3763-3770.
- Minors, D.S., Waterhouse, J.M. & Wirz-Justice, A. (1991). A human phase-response curve to light. *Neuroscience Letter*, 133, 36-40.
- Mongrain, V., Lavoie, S., Selmaoui, B., Paquet, J., & Dumont, M. (2004). Phase relationships between sleep-wake cycle and underlying circadian rhythms in morningness-eveningness. *Journal of Biological Rhythms*, 19, 248-257.
- Mongrain, V., Carrier, J., & Dumont, M. (2005). Chronotypes and sex effects on sleep architecture and quantitative sleep EEG in healthy young adults. *Sleep*, 28, 819-827.

- Mongrain, V., Carrier, J., & Dumont, M. (2006)a. Difference in sleep regulation between morning and evening types as indexed by antero-posterior analyses of the sleep EEG. *European Journal of Neuroscience*, 23, 497-504.
- Mongrain, V., Carrier, J., & Dumont, M. (2006)b. Circadian and homeostatic sleep regulation in morningness-eveningness. *Journal of Sleep Research*, 15, 162-166.
- Mongrain, V., Paquet, J., & Dumont, M. (2006)c. Contribution of the photoperiod at birth to the association between season of birth and diurnal preference. *Neuroscience Letters*. In press.
- Moore, R.Y. (1995). Organization of the mammalian circadian system. In Chadwick, D.J. & Ackrill, K., (Eds.) *Circadian clock and their adjustment*, (pp. 88-106). Ciba Foundation Symposium.
- Natale, V., & Cicogna, P. (1996). Circadian regulation of subjective alertness in morning and evening 'types'. *Personality and Individual Differences*, 20, 491-497.
- Natale, V., & Adan, A. (1999). Season of birth modulates morningness-eveningness preference in humans. *Neuroscience Letters*, 274, 139-141.

Natale, V., Adan, A., & Chotai, J. (2002). Further results on the association between morningness-eveningness preference and the season of birth in human adult. *Neuropsychobiology*, 46, 209-214.

Natale, V., & Cicogna, P. (2002). Morningness-eveningness: Is it really a continuum? *Personality and Individual Differences*, 32, 809-816.

Nelson, W., Tong, Y.L., Halberg, F., & Lee, J.K. (1979). Methods for cosinor-rhythmometry. *Chronobiologia*, 6, 305-323.

Posey, T.B., & Ford, J.A. (1981). The morningness-eveningness preference of college students as measured by the Horne and Ostberg questionnaire. *International Journal of Chronobiology*, 7, 141-144.

Roenneberg, T., Daan, S., & Merrow, M. (2003a). The art of entrainment. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 183-194.

Roenneberg, T., Wirz-Justice, A., & Merrow, M. (2003b). Life between clocks: Daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18, 80-90.

Shanahan, T.L., & Czeisler, C.A. (2000). Physiological effects of light on the human circadian pacemaker. *Seminars in perinatology*, 24, 299-320.

- Taillard, J., Philip, P., Coste, O., Sagaspe, P., & Bioulac, B. (2003). The circadian and homeostatic modulation of sleep pressure during wakefulness differs between morning and evening chronotypes. *Journal of Sleep Research, 12*, 275-282.
- Tankova I., Adan, A., & Buela-Casal, G. (1994). Circadian typology and individual differences : A review. *Personality and Individual Differences, 16*, 671-684.
- Van Cauter, E., Sturis, J., Byrne, M.M., Blackman, J.D., Leproult, R., Ofek, G., et al. (1994). Demonstration of rapid light-induced advances and delays of the human circadian clock using hormonal phase markers. *American Journal of Physiology, 266*, E953-E963.
- Voultsios, A., Kennaway, D.J., & Dawson, D. (1997). Salivary melatonin as a circadian phase marker: validation and comparison to plasma melatonin. *Journal of Biological Rhythms, 12*, 457-466.
- Weitzman, E.D. (1982). Chronobiology of man: sleep, temperature and neuroendocrine rhythms. *Human Neurobiology, 1*, 173-183.
- Wright, K.P. Jr., Gronfier, C., Duffy, J.F., & Czeisler, C.A. (2005). Intrinsic period and light intensity determine the phase relationship between melatonin and sleep in humans. *Journal of Biological Rhythms, 20*, 168-177.

Zeitzer, J.M., Dijk, D.J., Kronauer, R.E., Brown, E.N., & Czeisler, C.A. (2000). Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. *The Journal of Physiology*, 256, 695-702.

Annexe 1

Accord des coauteurs

Accord des coauteurs

1. Identification de l'étudiant

Nom de l'étudiant : Geneviève Goulet

Programme : M.Sc. en psychologie

Institution : Faculté des arts et des sciences, Université de Montréal

2. Description de l'article

Geneviève Goulet, Valérie Mongrain, Jean Paquet et Marie Dumont. Daily light exposure in Morning-type and Evening-type individuals. *Journal of Biological Rhythms*, article en préparation.

3. Déclaration de tous les coauteurs autres que l'étudiant

À titre de coauteur de l'article identifié ci-dessus, je suis d'accord pour que Geneviève Goulet inclue cet article dans son mémoire de maîtrise qui a pour titre : *Profils d'exposition à la lumière chez les types du matin et les types du soir*.

Valérie Mongrain

Coauteur

Signature

Date

Jean Paquet

Coauteur

Signature

Date

Marie Dumont

Coauteur

Signature

Date

Annexe 2

Questionnaire de chronotype

MEQ - Horne & Östberg, Version française

NI: _____

Date: _____

QUESTIONNAIRE DE CHRONOTYPE

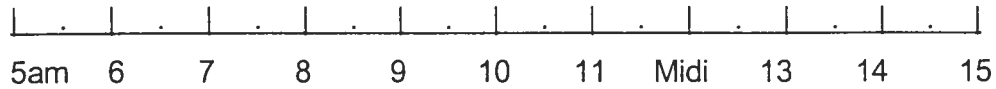
Directives:

1. Veuillez lire très attentivement chacune des questions avant de répondre.
2. Répondez à toutes les questions.
3. Répondez aux questions dans l'ordre où elles vous sont présentées (ordre numérique).
4. Chacune des questions doit être répondue indépendamment des autres. Ne revenez pas sur les questions antérieures pour vérifier vos réponses.
5. Toutes les questions ont un choix de réponses. Pour chacune des questions placer un **X** à côté d'une seule réponse. Certaines questions ont une échelle au lieu d'un choix de réponses. Placez un **X** à l'endroit approprié sur l'échelle.
6. Répondez le plus honnêtement possible à chacune des questions. Vos réponses et vos résultats seront strictement confidentiels.
7. Si vous avez des commentaires, sentez-vous libre de les écrire à côté des questions ou à la fin du questionnaire.

Merci de votre collaboration!

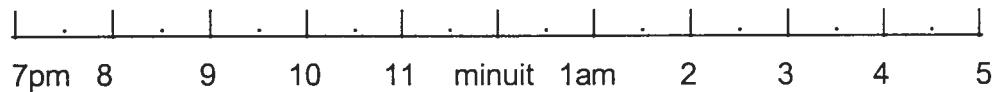
Questionnaire:

1. Si vous étiez entièrement libre de planifier vos journées, à quelle heure vous lèveriez-vous spontanément, si votre seul objectif était de vous sentir bien?



(heures)

2. Si vous étiez entièrement libre de planifier vos journées, à quelle heure vous coucheriez-vous spontanément, si votre seul objectif était de vous sentir bien?



(heures)

3. Lorsque vous devez vous lever à une heure spécifique le matin, à quel point dépendez-vous d'un réveil-matin pour vous réveiller ?

☐ Pas du tout dépendant(e)

☐ Un peu dépendant(e)

☐ Assez dépendant(e)

☐ Très dépendant(e)

4. Vous est-il facile de vous lever le matin?

☐ Pas du tout facile

☐ Pas très facile

☐ Assez facile

☐ Très facile

5. Vous sentez-vous alerte durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin?

☐ Pas du tout alerte

☐ Pas très alerte

☐ Assez alerte

☐ Très alerte

6. Comment est votre appétit durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin?

☐ Très pauvre

☐ Plutôt pauvre

☐ Plutôt bon

☐ Très bon

7. Durant la première demi-heure suivant votre réveil le matin, à quel point vous sentez-vous fatigué(e)?

☐ Très fatigué(e)

☐ Plutôt fatigué(e)

☐ Plutôt reposé(e)

☐ Très reposé(e)

8. Lorsque vous n'avez aucun engagement pour la journée suivante, vous couchez-vous plus tard qu'à votre heure habituelle?

☐ Rarement ou jamais plus tard

☐ Moins d'une heure plus tard

☐ 1 à 2 heures plus tard

☐ Plus de 2 heures plus tard

9. Vous avez décidé de faire du sport 2 fois par semaine avec un(e) ami(e) qui est disponible uniquement entre 7h00 et 8h00 le matin. En ne tenant compte que de la façon dont vous vous sentez à cette heure de la journée, comment pensez-vous que vous allez performer?

☐ Je serais en bonne forme

☐ Je serais raisonnablement en forme

☐ Je trouverais cela difficile

☐ Je trouverais cela très difficile

10. À quelle heure de la soirée sentez-vous la fatigue et le besoin de dormir?

☐ 7pm ☐ 8 ☐ 9 ☐ 10 ☐ 11 ☐ minuit ☐ 1am ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

11. Vous voulez atteindre votre meilleure performance dans un test qui, vous le savez, sera mentalement très exigeant et durera 2 heures. Vous êtes entièrement libre de planifier votre journée et de déterminer le moment du test. A quelle heure choisirez-vous de faire le test pour être à votre meilleur?

☐ 8h00-10h00

☐ 11h00-13h00

☐ 15h00-17h00

☐ 19h00-21h00

12. Si vous allez vous coucher à 23h00, à quel point vous sentirez-vous fatigué(e)?

☐ Pas du tout fatigué(e)

☐ Un peu fatigué(e)

☐ Assez fatigué(e)

☐ Très fatigué(e)

13. Si vous vous couchez plusieurs heures plus tard que d'habitude et que vous n'avez aucune obligation le lendemain, qu'est-ce qui vous semble le plus probable?

☐ Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je ne me rendormirai pas.

☐ Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je somnolerai légèrement par la suite.

☐ Je vais me réveiller à l'heure habituelle et je me rendormirai ensuite.

☐ Je vais me réveiller plus tard que d'habitude.

14. Vous devez rester réveillé(e) entre 4h00 et 6h00 du matin pour une surveillance de nuit et vous n'avez aucun engagement pour la journée suivante. Lequel des choix suivants vous conviendrait le plus?

☐ Je n'irais pas me coucher avant que la surveillance soit terminée et je dormirais ensuite.

☐ Je ferais une sieste avant la surveillance et dormirais plus longuement après.

☐ Je dormirais principalement avant la surveillance et je ferais une sieste après.

☐ Je dormirais avant la surveillance et je ne me recoucherais pas ensuite.

15. Vous avez à faire 2 heures de travail physique intense et vous êtes entièrement libre de planifier votre journée. En considérant uniquement la façon dont vous vous sentez pendant la journée, laquelle des périodes suivantes choisiriez-vous pour le faire?

☐ 08h00 – 10h00

☐ 11h00 – 13h00

☐ 15h00 – 17h00

☐ 19h00 – 21h00

16. Vous avez décidé de faire du sport 2 fois par semaine avec un(e) ami(e) qui est disponible uniquement entre 22h00 et 23h00 le soir. En ne tenant compte que de la façon dont vous vous sentez à cette heure de la journée, comment pensez-vous que vous allez performer?

☐ Je serais en bonne forme

☐ Je serais raisonnablement en forme

☐ Je trouverais cela difficile

☐ Je trouverais cela très difficile

17. Supposons que vous puissiez choisir vos propres heures de travail, que vous travaillez cinq heures par jour (en incluant les pauses) et que votre travail est intéressant et payé en fonction de votre rendement. Quelles sont les cinq heures consécutives de travail que vous choisiriez? (Faites 1 croix dans 5 cases consécutives).

minuit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
	a.m.										midi					p.m.							